



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 197 29 761 A 1

⑤ Int. Cl. 5:  
H01P 5/10

⑳ Aktenzeichen: 197 29 761.7  
㉔ Anmeldetag: 11. 7. 97  
㉕ Offenlegungstag: 26. 3. 98

DE 197 29 761 A 1

⑳ Unionspriorität:

892161 05.08.98 US

㉑ Anmelder:

Motorola, Inc., Schaumburg, Ill., US

㉒ Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,  
Anwaltssozietät, 80538 München

㉓ Erfinder:

Gu, Wang-Chang Albert, Coral Springs, Fla., US

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Symmetrieübertrager

- ⑤⑦ Erste und zweite Übertragungsleitungskoppler, von denen einer in einer asymmetrischen offenen Schaltungskonfiguration, der andere in einer asymmetrischen kurzgeschlossenen Schaltungskonfiguration konfiguriert ist, sind miteinander verbunden, um einen Symmetrieübertrager auszubilden. Der Symmetrieübertrager kann in einem dreitorigen Bandpaßfilter oder anderen differentiellen Schaltungen implementiert werden, um die Funktionalität eines Symmetrieübertragers und eines zweipoligen Filters in einer Schaltung zu kombinieren.

DE 197 29 761 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01. 98 802 013/600

10/22

## TECHNISCHES GEBIET

Diese Erfindung bezieht sich allgemein auf differentielle Schaltungen und insbesondere auf Symmetrieübertrager.

## HINTERGRUND

Es ist wohl bekannt, daß differentielle Schaltungstechniken eine bessere Schaltungs-zu-Schaltungs-Isolierung und einen verbesserten Dynamikbereich liefern. Ein vorderste Stufe eines typischer Funkfrequenz-(RF)-Empfänger, die eine differentielle Schaltungstopologie annimmt, ist in Fig. 1 der begleitenden Zeichnungen gezeigt. Der Funkempfänger 100 umfaßt einen Symmetrieübertrager 102 für das Empfangen eines RF-Signals. Der Symmetrieübertrager nimmt das unsymmetrische (einpole) Signal und wandelt es in ein symmetrisches (differentielles) Signal 104 um. Das differentielle Signal 104 bezieht sich auf zwei Signale gleicher Größe, die einen Phasenunterschied von 180 Grad aufweisen.

Dieses differentielle Signal 104 wird an einen rauscharmen Verstärker (LNA) 106 geliefert, der durch eine automatische Verstärkungssteuerung (AGC) gesteuert wird. Ein verstärktes differentielles Signal 108 wird dann durch einen Bandpaßfilter (BPF) 110 gefiltert. Das gefilterte Signal 112 wird dann im Mischer 114 gemischt mit einem Signal eines lokalen Oszillators (LO), das durch einen Quadraturphasenaufteiler 116 aufgeteilt wurde. Der Mischer 114 erzeugt dann ein Quadraturausgangssignal  $Q|Q|$ .

Schaltungsgealter von tragbaren und mobilen Funkgeräten suchen ständig nach Wegen, die Empfängergerätestrukturen zu vereinfachen und die Zahl der Teile, die Größe und die Kosten zu vermindern. Es wäre wünschenswert, einen vereinfachten RF-Empfänger zu haben, der diese Ziele erreichen könnte, während er die Spezifikationen bezüglich Isolation, dynamischem Bereich, Empfindlichkeit und Frequenzwahl aufrecht erhält.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 ist ein Blockdiagramm eines Funkempfängers des Standes der Technik.

Fig. 2 ist ein Übertragungsleitungssymmetrieübertrager gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 3 ist eine Kurve einer simulierten Frequenzantwort der Schaltung der Fig. 2.

Fig. 4 ist eine andere Ausführungsform des Symmetrieübertragers gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 5 ist eine nochmals andere Ausführungsform des Symmetrieübertragers gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 6 ist ein Bandpaßfilter gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 7 ist eine Kurve einer simulierten Frequenzantwort für das Filter der Fig. 6 gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 8 ist ein Funkempfänger gemäß der vorliegenden Erfindung.

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

Während die Beschreibung mit den Ansprüchen abschließt, die die Merkmale der Erfindung definieren, die als neu angesehen werden, wird angenommen, daß die Erfindung unter Betrachtung der folgenden Beschreibung in Verbindung mit den Zeichnungsfiguren, in denen gleiche Bezugszeichen durch alle Figuren hindurch verwendet werden, besser verstanden wird.

Ein Übertragungsleitungskoppler ist ein vierpoliges Netz, das vollständig durch seinen Kopplungsfaktor  $k$ , seine Impedanz  $Z_0$  und die elektrische Länge  $\theta$  bei einer spezifischen Frequenz gekennzeichnet ist. Viele möglichen Zweitornetze können entweder durch Öffnen oder Kurzschließen von zwei der Anschlüsse ausgebildet werden, um einen zweipoligen Bandpaßfilter, auch bekannt als Viertelwellenkoppler auszubilden.

Gemäß der vorliegenden Erfindung werden zwei Übertragungsleitungskoppler, einer in einer Konfiguration mit einem offenen Ende und einer in einer kurzgeschlossenen Konfiguration, miteinander verbunden, um ein asymmetrisches Paar zu bilden. Wenn sie kombiniert werden, zeigen sie die eindeutige Eigenschaft eines Symmetrieübertragers. Bezieht man sich nun auf Fig. 2, so ist dort der Symmetrieübertrager 200 gemäß der vorliegenden Erfindung gezeigt. Der Symmetrieübertrager 200 umfaßt erste und zweite Übertragungsleitungskoppler 202, 204. Obwohl dies nicht gezeigt ist, wird die Erde des Übertragungsleitungskopplers implizit angenommen. Jeder Übertragungsleitungskoppler 202, 204 ist in Form eines zweipoligen Bandpaßfilters ausgebildet, wobei einer in einer offenen Schaltungskonfiguration und der andere in einer kurzgeschlossenen Schaltungskonfiguration ausgestaltet ist. Diese Übertragungsleitungskoppler werden auch als Viertelwellenlängenkoppler 202, 204 bezeichnet. Die zwei Übertragungsleitungskoppler 202, 204 werden miteinander verbunden, um einen dreitorigen Symmetrieübertrager zu bilden, der einen Eingangsanschluß 1 und erste und zweite Ausgangsanschlüsse 2, 3 hat. Der Symmetrieübertrager 200 empfängt ein Funkfrequenz-(RF)-Signal am Eingangsanschluß 206 und erzeugt ein differentielles Ausgangssignal an den ersten und zweiten Ausgangsanschlüssen 2, 3.

Der Übertragungsleitungskoppler 202 ist aus ersten und zweiten benachbarten Übertragungsleitungen 206, 208 gebildet, die mit einem Kopplungsfaktor von 3 dB und einer elektrischen Länge von 90 Grad bei einer spezifischen Frequenz gekoppelt sind. Die zwei gekoppelten Übertragungsleitungen liefern erste, zweite, dritte und vierte Anschlüsse 210, 212, 214, 216. Die ersten und vierten Anschlüsse 210, 216 sind diagonal entgegengesetzt und von offener Schaltung. Der dritte Anschluß 214 funktioniert als Eingangsanschluß und der zweite Anschluß 212 funktioniert als Ausgangsanschluß.

Der zweite Übertragungsleitungskoppler 204 ist aus dritten und vierten benachbarten Übertragungsleitungen 218, 220 gebildet, die mit einem Kopplungsfaktor von 3 dB und einer elektrischen Länge von 90 Grad an einer speziellen Frequenz miteinander gekoppelt sind. Diese gekoppelten Übertragungsleitungen 218, 220 liefern erste, zweite, dritte und vierte Anschlüsse 222, 224, 226 und 228. Der erste Anschluß 222 funktioniert als Eingangsanschluß, die zweiten und dritten Anschlüsse 224, 226 sind diagonal entgegengesetzt und auf Erdpotential, und der vierte Anschluß 228 funktioniert als Ausgangsanschluß. Der Eingangsanschluß 214 des ersten

Übertragungsleitungskopplers 202 und der Eingangsanschluß 222 des zweiten Übertragungsleitungskopplers 204 sind miteinander verbunden, um einen Eingangsanschluß 1 für das Empfangen eines RF-Signals zu bilden. Der Ausgangsanschluß 212 des ersten Übertragungsleitungskopplers 202 und der Ausgangsanschluß 228 des zweiten Übertragungsleitungskopplers 204 liefern erste und zweite Ausgangsanschlüsse 2, 3 für das Erzeugen eines differentiellen Ausgangssignals in Erwiderung auf das RF-Signal.

Der Symmetrieübertrager der vorliegenden Erfindung kann in einer Vielzahl von Formaten neu konfiguriert werden, aber er muß diagonal gegenüberliegende zum Erdpotential kurzgeschlossene Anschlüsse in einem Übertragungsleitungskoppler und diagonal entgegengesetzte Anschlüsse mit offener Schaltung in einem anderen Übertragungsleitungskoppler aufweisen.

Bezieht man sich nun auf Fig. 3, so ist dort eine Kurve 300 einer simulierten Frequenzantwort für den in Fig. 2 gezeigten Symmetrieübertrager gezeigt. Für diese Simulation wurde jeder Viertelwellenkoppler gekennzeichnet durch einen Kopplungsfaktor von 3 dB, eine Impedanz  $Z_0$  von ungefähr 70 Ohm und eine elektrische Länge von 90 Grad bei einer Frequenz  $f$  von 850 Megahertz (MHz). Die Schaltungssimulation wurde über einen Frequenzbereich von 0,65 Gigahertz (GHz) bis 1,05 GHz durchgeführt. Die Größe der Rückflußdämpfung  $S_{11}$  am Eingangsanschluß ist durch den Bezeichner 302 gezeigt. Der Einfügungsverlust zwischen dem Eingangsanschluß und dem ersten Ausgangsanschluß  $S_{21}$  wird durch den Bezeichner 304 angezeigt, und der Einfügungsverlust zwischen dem ersten Anschluß und dem zweiten Ausgangsanschluß  $S_{31}$  ist durch den Bezeichner 306 angezeigt. Die Schmalbandantwort ergibt eine ausgezeichnete differentielle Phasenantwort. Eine Bandbreite von ungefähr 30 Prozent wurde für eine sehr enge Toleranz von 2 Grad im differentiellen Phasenwinkel erzielt.

Schematisch umfaßt der Symmetrieübertrager der vorliegenden Erfindung diagonal gegenüberstehende Anschlüsse mit offener Schaltung und diagonal gegenüberstehende Anschlüsse, die zur Erde kurzgeschlossen sind, wiewohl ein Fachmann erkennt, daß die physische Implementierung viele Formen annehmen kann.

Bezieht man sich nun auf Fig. 4, so ist dort eine andere Ausführungsform des Symmetrieübertragers der vorliegenden Erfindung gezeigt. In dieser isometrischen Schnittansicht ist der Symmetrieübertrager 400 unter Verwendung erster und zweiter Übertragungsleitungskoppler 402, 404 ausgebildet, wobei jeder Koppler 402, 404 benachbarte oder nebeneinander angeordnete Übertragungsleitungen umfaßt, die auf parallelen Ebenen eines Substrats 401 gekoppelt sind. Der Koppler 402 ist aus nebeneinander angeordneten Übertragungsleitungen 406, 408 ausgebildet, während der Koppler 404 aus nebeneinanderliegenden Übertragungsleitungen 410, 412 ausgebildet ist. Im ersten Koppler 402 ist ein Paar gegenüberliegender Anschlüsse 414, 416, die auf parallelen Ebenen angeordnet und mit Erde 418 kurzgeschlossen sind, während im zweiten Koppler 404 ein Paar gegenüberliegender Anschlüsse 420, 422 eine offene Schaltung aufweisen. Die Anschlüsse 424, 426 sind miteinander verbunden, um einen Eingangsanschluß 1 zu liefern, während die Anschlüsse 428, 430 erste und zweite Ausgangsanschlüsse 2, 3 liefern.

Ein Fachmann wird erkennen, daß obwohl sie schematisch als einander diagonal gegenüberliegend angeordnet gezeigt sind, in der physischen Implementierung

die asymmetrische Erdung durch einen Kurzschluß zu Erde (und einer offenen Schaltung) entgegengesetzter Enden paralleler Übertragungsleitungen auf gegenüberliegenden Ebenen erreicht werden.

Fig. 5 zeigt eine nochmals andere Ausführungsform des Symmetrieübertragers 500 der vorliegenden Erfindung, der eine spiralförmige Übertragungsleitungskopplerimplementierung verwendet. In der Explosionsansicht sind auch zwei äußere Substratschichten 502, 504 gezeigt, die Erdebene 501, 503 liefern und erste und zweite innere Substratschichten 506, 508, die sandwichartig zwischen ihnen eingeschlossen sind. Die erste Substratschicht 506 umfaßt die Übertragungsleitung 510, die erste und zweite gekoppelte Spiralteile 512, 514 aufweist. Die zweite Substratschicht 508 umfaßt erste und zweite Spiralübertragungsleitungen 516, 518, die im wesentlichen ein Spiegelbild der auf der ersten Substratschicht angeordneten Leitungen in einer parallelen Ebene darstellen. Auf der ersten Substratschicht 506 verbindet ein Knoten oder ein Anschluß 520 die ersten und zweiten Spiralteile 512, 514 und fungiert als Eingangsanschluß 1 des Symmetrieübertragers. Ein Ende der ersten Spirale 512 weist eine offene Schaltung auf, Anschluß 522, während das andere Ende der zweiten Spirale mit Erde kurzgeschlossen ist, Anschluß 524.

Auf der zweiten Substratschicht 508 sind die beiden Spiralteile 516, 518 durch einen Anschluß 526 getrennt, der mit Erde kurzgeschlossen ist, während der andere Anschluß 528 eine offene Schaltung aufweist. Die äußeren Anschlüsse der ersten und zweiten Spiralen der zweiten Substratschicht liefern erste und zweite Ausgangsanschlüsse 2, 3.

Schematisch haben die Gestaltungen aller dieser Symmetrieübertragerausführungsformen dennoch eine asymmetrisch Charakteristik diagonal entgegengesetzter offener Anschlüsse und diagonal entgegengesetzter Anschlüsse, die zu Erde kurzgeschlossen sind, obwohl ein Fachmann erkennt, daß die physische Implementierung viele Gestaltungstopologien annehmen kann, wie das durch die vorher beschriebenen Ausführungsformen gezeigt wurde.

Durch die Hinzufügung von Abstimmeelementen, wie Kondensatoren oder Spulen, kann eine Frequenzselektivität leicht in den Symmetrieübertrager der vorliegenden Erfindung mit eingeschlossen werden. Bezieht man sich nun auf Fig. 6, so ist dort ein Bandpaßfilter 600 gezeigt, das den Symmetrieübertrager 200, der in Fig. 2 beschrieben wurde, umfaßt. Das Bandpaßfilter 600 umfaßt erste und zweite Viertelwellenkoppler 202, 204 als auch mehrere Abstimmeelemente, die hier als Kondensatoren  $C_{s1}$ ,  $C_{s2}$ ,  $C_{s3}$ ,  $C_{p1}$ ,  $C_{p2}$  und  $C_{p3}$ , die auf einem Substrat 601 angeordnet sind, gezeigt sind. Die Abstimmeelemente sind mit dem Eingangsanschluß 1 und ersten und zweiten Ausgangsanschlüssen 2, 3 verbunden. Die Abstimmeelemente  $C_{s1}$ ,  $C_{s2}$ ,  $C_{s3}$ ,  $C_{p1}$ ,  $C_{p2}$  und  $C_{p3}$  liefern eine Frequenzselektivität für den Bandpaßfilter 600.

Bezieht man sich nun auf Fig. 7, so ist dort eine Kurve einer simulierten Frequenzantwort für den Filter der Fig. 6 gemäß der vorliegenden Erfindung gezeigt. In dieser Simulation werden ein Kopplungsfaktor  $k$  von 3 dB, eine Impedanz  $Z_0$  von ungefähr 70 Ohm und eine elektrische Länge von 90 Grad bei einer Frequenz von 850 MHz verwendet. Die ungefähren Werte für die Kondensatoren sind  $C_{s1} = 1,48$  Picofarad (pF),  $C_{s2} = 2,2$  pF,  $C_{s3} = 2,2$  pF,  $C_{p1} = 2,5$  pF,  $C_{p2} = 5,6$  pF und  $C_{p3} = 5,6$  pF. Die Kurve 700 zeigt eine ausgezeichnete differentielle Phasenantwort und Charakteristika eines zwei-

poligen Filters für beide Ausgangsanschlüsse. Die Rückflußdämpfung  $S_{11}$  des Eingangsanschluß ist durch den Bezeichner 702 gezeigt. Der Einfügungsverlust des ersten Ausgangsanschlusses und des Eingangsanschlusses  $S_{21}$  ist durch den Bezeichner 704 gezeigt und der Einfügungsverlust zwischen dem zweiten Ausgangsanschluß und dem Eingangsanschluß  $S_{31}$  ist durch den Bezeichner 706 gezeigt.

Die Frequenzselektivität kann in gleicher Weise zu allen Ausführungsformen des Symmetrieübertragers der vorliegenden Erfindung hinzugefügt werden. Somit kann unabhängig von der Gestaltungstopologie eine Vielzahl von Bandpaßfiltern leicht durch das Hinzufügen von Abstimmeelementen implementiert werden.

Die erste Stufe des Empfängers kann stark vereinfacht werden unter Verwendung des durch die Erfindung beschriebenen Bandpaßfilters. Das Bandpaßfilter 600, das durch die Erfindung beschrieben ist, kann leicht auf einer Anzahl von Materialien, wie beispielsweise einer gedruckten Leiterplatte (PCB) und Keramiken implementiert werden. Das Hinzufügen der Bandpaßfilterfunktionalität zum Symmetrieübertrager 200 eliminiert die Notwendigkeit eines getrennten Bandpaßfilters in einem Funkempfänger.

Bezieht man sich nun auf Fig. 8, so ist dort ein Funkgerät gezeigt, das eine differentielle Schaltungstopologie gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet. Der Funkempfänger 800 umfaßt das Bandpaßfilter (BPF) 600, das die Funktionalität eines Symmetrieübertragers und eines zweipoligen Bandpaßfilters gemäß der vorliegenden Erfindung kombiniert. Das Bandpaßfilter 600 nimmt das unsymmetrische (einpellige) Signal und transformiert es in ein gefiltertes symmetrisches (differentielles) Signal 802. Diese gefilterte differentielle Signal 802 wird einem rauscharmen Verstärker (LNA) 804 zugeführt, der durch eine automatische Verstärkungssteuerung (AGC) gesteuert wird. Ein verstärktes, differentielles Signal 806 wird dann im Mischer 808 mit einem Signal eines lokalen Oszillators (LO) gemischt, das durch einen Quadraturphasenaufspalter 810 aufgespalten wurde. Der Mischer 808 erzeugt dann ein Quadraturausgangssignal  $Q|Q|$ . Somit vereinfacht das durch die Erfindung beschriebene Bandpaßfilter die Empfängergestaltung durch Kombinieren der Funktionalität des Symmetrieübertragers und des Filters in einer Schaltung. Das Eliminieren des Filters des Standes der Technik, während der differentielle Aspekt der Schaltung aufrecht erhalten wird, liefert die vorteilhafte Rauschimmunität mit weniger Teilen. Die Zahl der Teile und die Gesamtgröße der Empfängerschaltungen kann nun vermindert werden, was den Vorteil verminderter Kosten bietet.

Ein Bandpaßfilter mit differentiellen Ausgängen, das den Symmetrieübertrager implementiert, wie er durch die Erfindung beschrieben wurde, kann auf Mikrowellenfrequenzen von 800–900 MHz, Ultrahohen Frequenzen (UMF) und sehr hohe Frequenzen (VHF) erstreckt werden, was im wesentlichen das Spektrum der gesamten tragbaren und mobilen Funkgeräte überdeckt. Zusätzlich zu Filtern, kann der Symmetrieübertrager, wie er durch die Erfindung beschrieben wurde, Anwendung finden in vielen anderen Funkschaltungen, bei denen differentielle Topologien gewünscht werden, wie in Mischern, oder einfach als verbesserter Übertrager. Der Übertragungsleitungssymmetrieübertrager, der durch die Erfindung beschrieben wurde, kann eine Vielzahl von Gestaltungstopologien annehmen, was es leicht macht, ihn in einschichtigen und mehrschichtigen

Substraten zu implementieren.

Während die bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung gezeigt und beschrieben wurden, wird klar, daß die Erfindung nicht darauf beschränkt ist. Viele Modifikationen, Änderungen, Variationen, Ersetzungen und Äquivalente können von Fachleuten vorgenommen werden, ohne von der Idee und dem Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen, wie sie durch die angefügten Ansprüche definiert ist.

#### Patentansprüche

##### 1. Symmetrieübertrager mit:

einem ersten Viertelwellenlängenkoppler, der zwei diagonal entgegengesetzte Anschlüsse, die mit Erdpotential kurzgeschlossen sind, einen Eingangsanschluß und einen Ausgangsanschluß aufweist; einem zweiten Viertelwellenlängenkoppler, der zwei diagonal entgegengesetzte offene Anschlüsse hat, einen Eingangsanschluß und einen Ausgangsanschluß, wobei der Eingangsanschluß des ersten Viertelwellenlängenkopplers mit dem Eingangsanschluß des zweiten Viertelwellenlängenkopplers verbunden ist, um einen ersten Eingangsanschluß für das Empfangen eines RF-Signals zu bilden; und der Ausgangsanschluß des ersten Viertelwellenlängenkopplers und der Ausgangsanschluß des zweiten Viertelwellenlängenkopplers erste und zweite Ausgangsanschlüsse für das Erzeugen eines differentiellen Ausgangssignals in Erwiderung auf das RF-Signal liefern.

2. Symmetrieübertrager nach Anspruch 1, wobei er weiter eine Vielzahl von Abstimmeelementen aufweist, die mit dem Eingangsanschluß und den ersten und zweiten Ausgangsanschlüssen verbunden sind, wobei die Vielzahl der Abstimmeelemente die Frequenzselektivität des Bandpaßfilters steuern.

3. Symmetrieübertrager nach Anspruch 2, wobei die ersten und zweiten Viertelwellenlängenkoppler auf einer einzigen Substratebene angeordnet sind.

4. Symmetrieübertrager nach Anspruch 2, wobei der erste Viertelwellenlängenübertrager auf ersten und zweiten Substratebenen angeordnet ist, und der zweite Viertelwellenlängenübertrager auch auf ersten und zweiten Substratebenen angeordnet ist.

##### 5. Bandpaßfilter mit:

einem Übertragungsleitungssymmetrieübertrager mit:

einem ersten Viertelwellenlängenkoppler, der zwei diagonal entgegengesetzte Anschlüsse, die mit Erdpotential kurzgeschlossen sind, einen Eingangsanschluß und einen Ausgangsanschluß aufweist; einem zweiten Viertelwellenlängenkoppler, der zwei diagonal entgegengesetzte offene Anschlüsse hat, einen Eingangsanschluß und einen Ausgangsanschluß, wobei der Eingangsanschluß des ersten Viertelwellenlängenkopplers mit dem Eingangsanschluß des zweiten Viertelwellenlängenkopplers verbunden ist, um einen ersten Eingangsanschluß für das Empfangen eines RF-Signals zu bilden; und der Ausgangsanschluß des ersten Viertelwellenlängenkopplers und der Ausgangsanschluß des zweiten Viertelwellenlängenkopplers erste und zweite Ausgangsanschlüsse für das Erzeugen eines differentiellen Ausgangssignals in Erwiderung auf das RF-Signal liefern; und

Abstimmeelemente, die mit dem Eingangsanschluß und den ersten und zweiten Ausgangsanschlüssen

verbunden sind für das Steuern der Frequenzselektivität des Bandpaßfilters.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

8

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

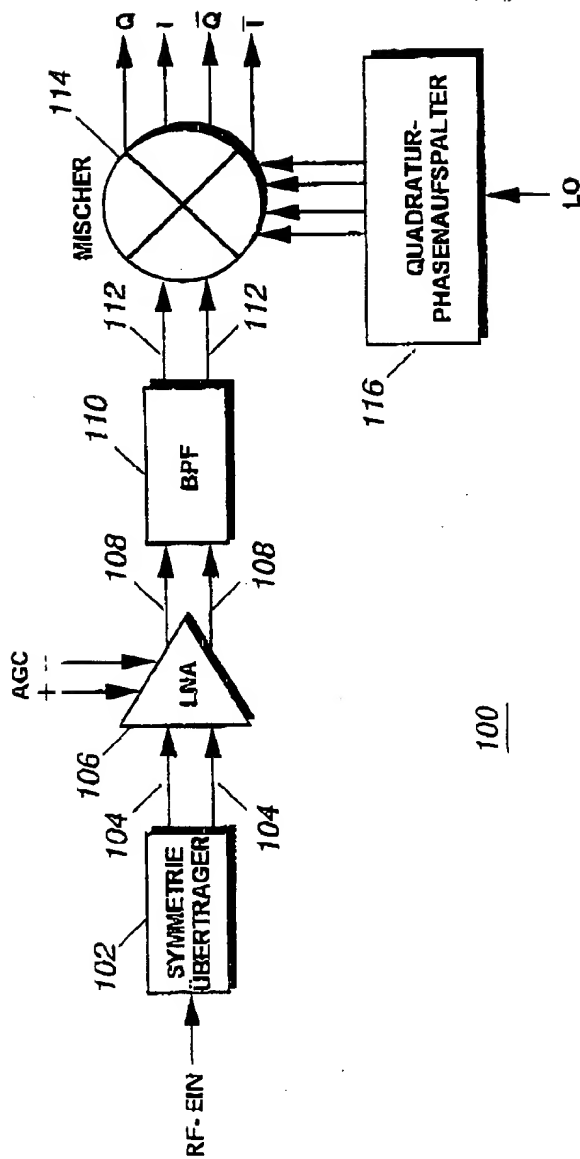


Fig. 1  
STAND DER TECHNIK

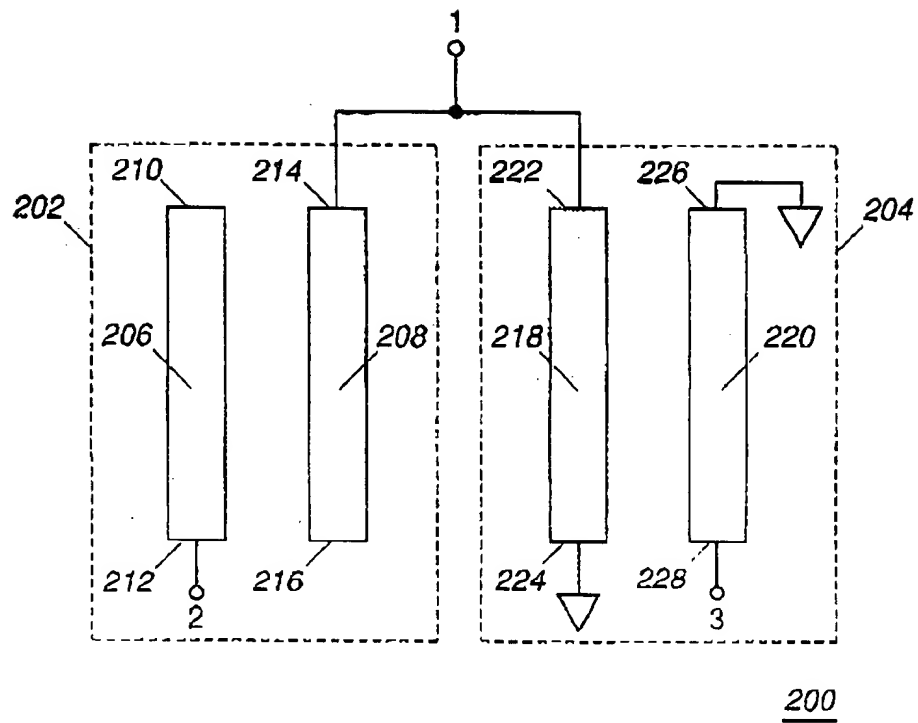


Fig. 2

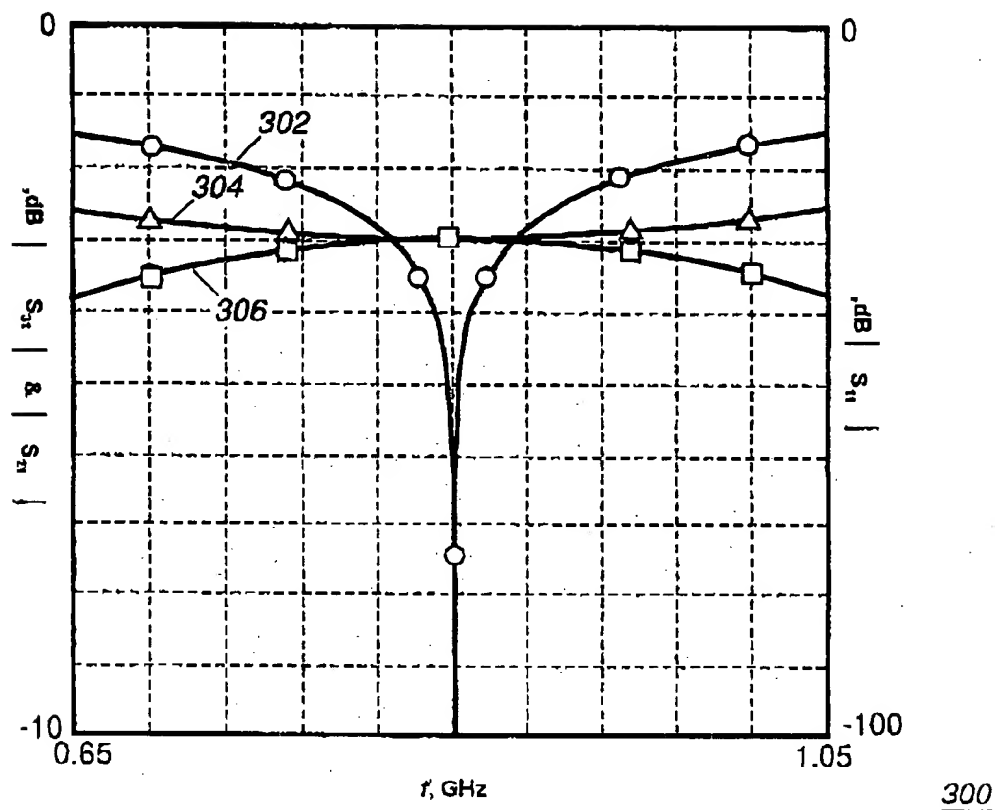


Fig. 3



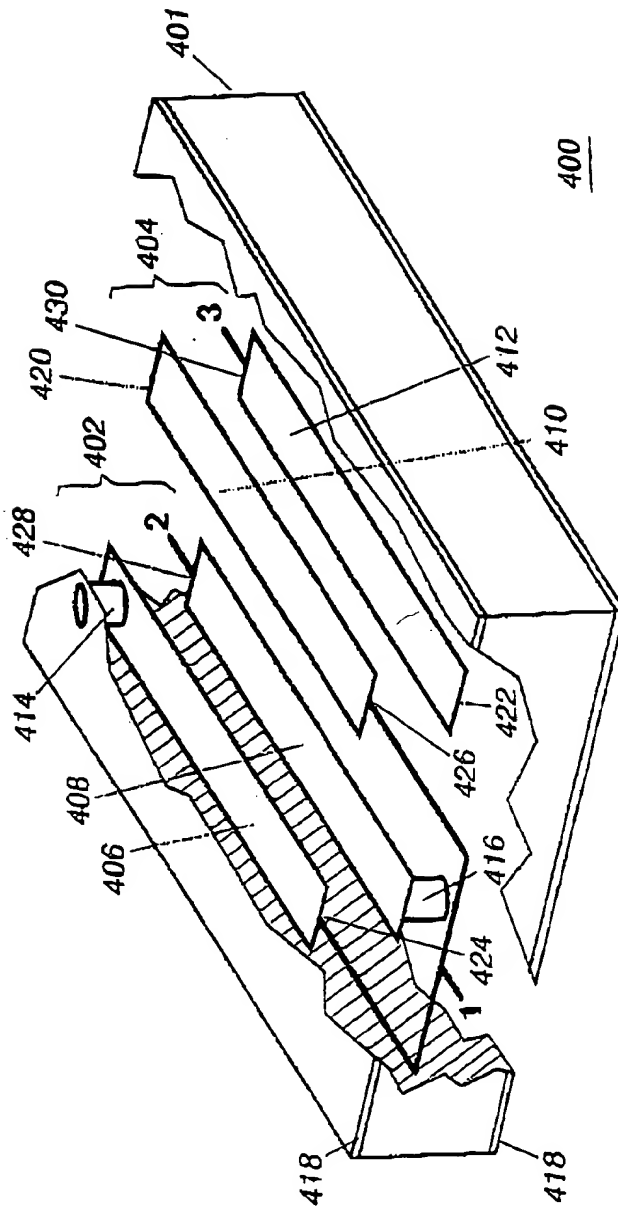


Fig. 4

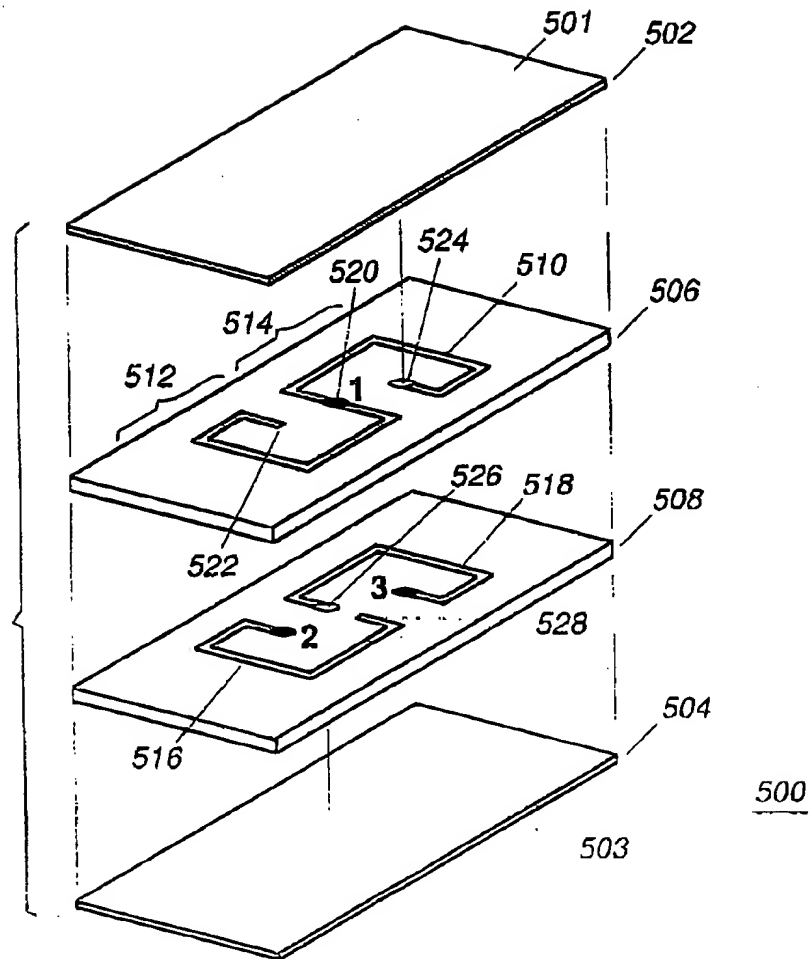
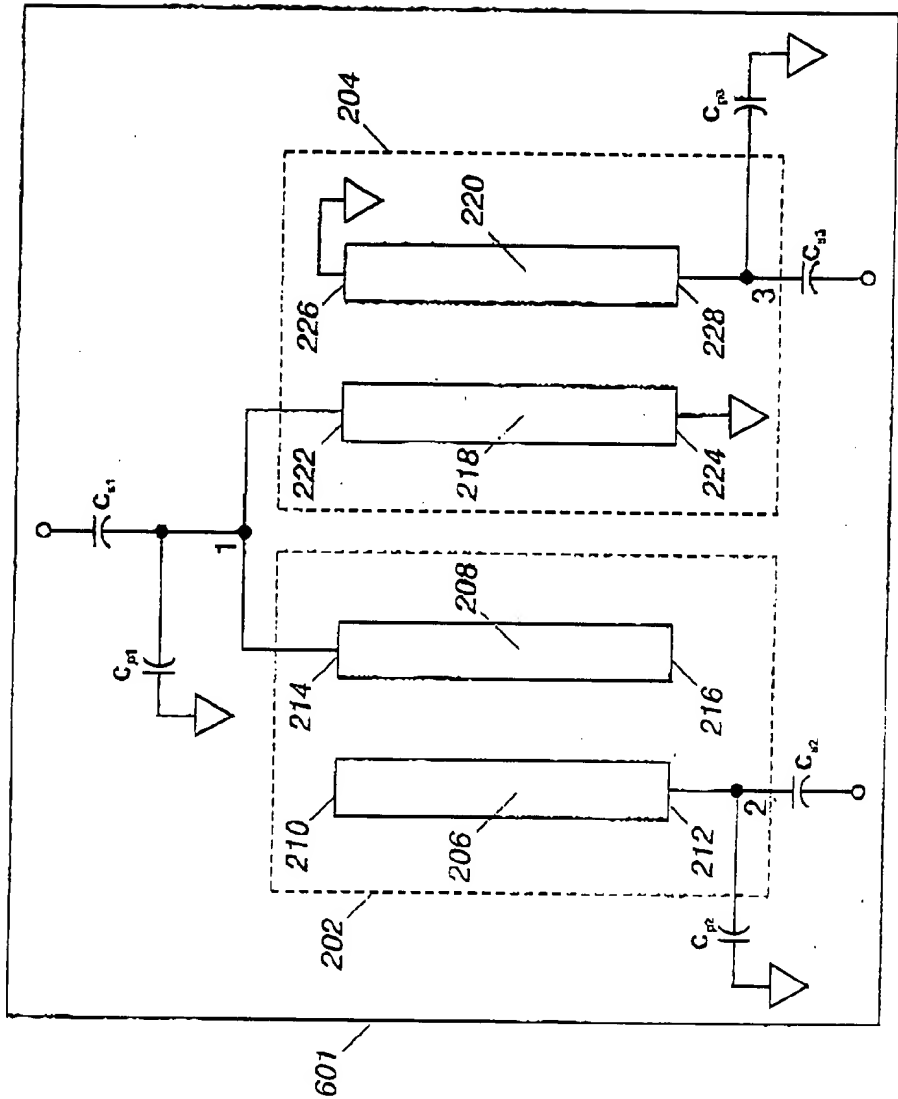
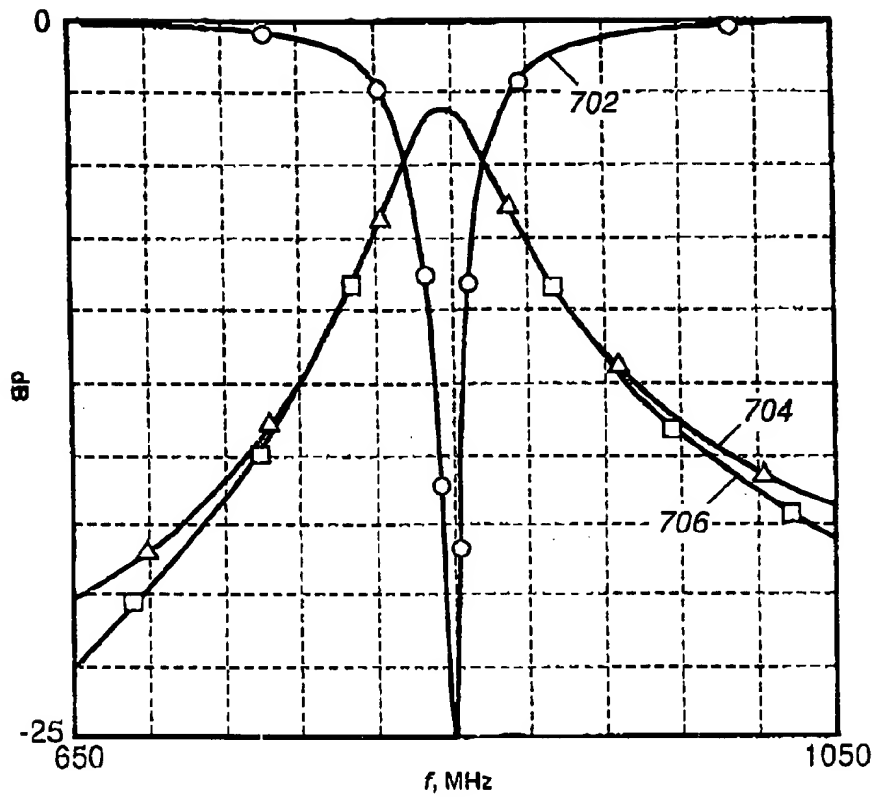


Fig. 5



600

Fig. 6



700

Fig. 7

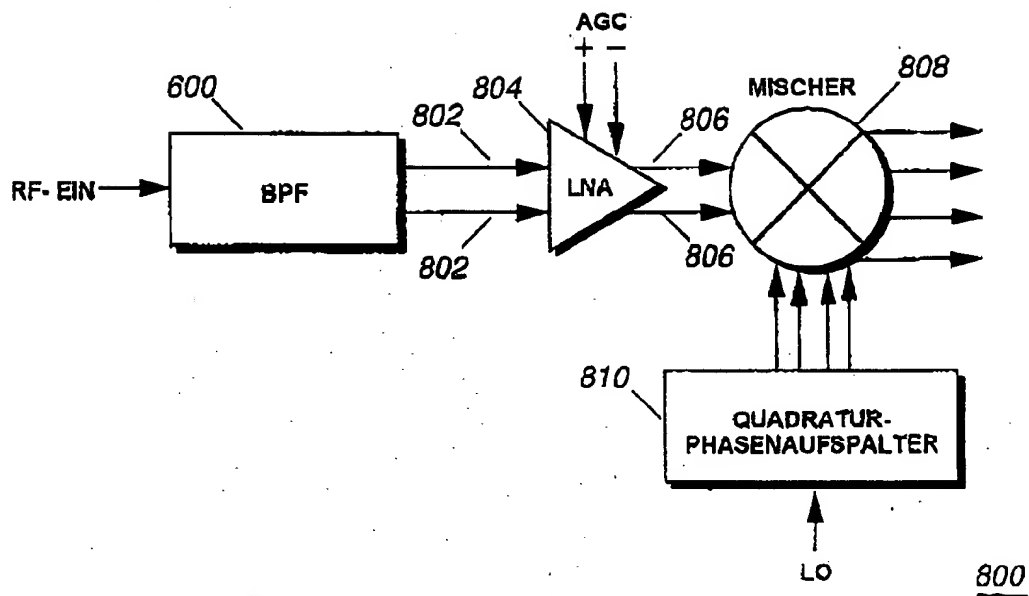


Fig. 8